

# 中学理科の光合成実験に関する研究

## －取手聖徳女子中高における光合成実験の最適な条件へのアプローチ－

長野 雅弘<sup>\*1</sup> 門倉 慶<sup>\*2</sup>

### The Research of Photosynthetic Experiments Conducted in Science Classes in Middle School : Aiming to Optimize the Conditions of Photosynthetic Experiments in Toride Seitoku Girls' Junior High School

*NAGANO, Masahiro and KADOKURA, Kei*

#### 要旨

中学理科の授業では、観察、実験が重視される。授業用の教科書にも多くの観察、実験が載っているが、特に生物を対象とした実験の場合には、用いる試料あるいは気象その他の条件によって、期待される結果が出ない可能性がある。そういった場合には、各授業における最適な実験条件を検討する必要がある。本稿では、中学1年で学習する光合成の実験に関する検討を行った。本校に生えている植物から5種類のサンプルを選び、サンプルの種類・薬品の濃度を変えて実験を行った。さらに、ヨウ素デンプン反応の時間変化も追跡することで、本実験に影響を与える要因を見つけ出し、幅広い状況に対応できるような実験の最適条件を決定した。

5種類のサンプルから、幅広い状況に対応できる2種類のサンプルを選び出すことができた。さらに、葉の準備から24時間以内の実験かつその間の天候がくもりまたは雨という不利な条件においても、葉を熱湯に入れる時間を調整し、この2種類のサンプルを相補的に用いることで、予期せぬ作業の遅れにも対応が可能となることがわかった。

#### キーワード

中学理科、光合成、ヨウ素デンプン反応

#### Abstract

In science classes in junior high school, experiments and observations are given emphasis. However, especially in experiments dealing with living things, dependent on the conditions of the samples or meteorological factors, we cannot possibly get predictable results. Therefore, optimum experimental conditions for each class need to be examined. In this study, we examined the conditions of photosynthetic experiments which students are to study in their seventh grade. First, we chose five kinds of samples from plants which grew in our school and made experiments under multiple conditions. These experiments altered in the kind of samples or reagent concentration. Moreover, by tracing the alterations of iodine starch reaction, we determined the factors which influence the reaction and the optimum conditions which are applicable to various situations.

This experiment showed that two kinds of samples are optimum and that optimizing the time of the leaves put into boiling water and utilizing these two samples, complementarily enabled us to deal with unfavorable conditions. This is providing that the experiment is made within twenty four hours of preparation of the leaves and the weather during this period was cloudy or rainy. This also enabled us to deal with unexpected work-lag.

#### Key words

junior high school science, photosynthesis, iodine starch reaction

## 1. はじめに

中学校理科の学習指導要領<sup>1)</sup>では、理科の目標を「自然の事物・現象に進んでかわり、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う」と定めている。また、同解説<sup>2)</sup>においては「観察、実験、野外観察を重視するとともに、地域の環境や学校の実態を生かし、自然の事物・現象を科学的に探究する能力の基礎と態度の育成及び基本的な概念の形成が段階的に無理なく行える

ようにすること」ともある。つまり、理科において観察、実験は特に重要な要素といえる。確かに、中学理科の教科書<sup>3)</sup>には学習内容に関連した実験が数多く載せられており、やはり学習指導要領にもあるとおり、中学生にはできる限りの観察、実験をさせたいものである。そして、実験をするからには、必ず成功させなければならない。もちろん、失敗の原因や実験誤差などの考察をすることも重要であるが、それよりもまずは教科書どおりの結果を出すことが必要となる。成功してこそ、その内容が身近な科学現象として記憶に残るからである。たとえ、普

\* 1 : 聖徳大学児童学部児童学科・教授 / \* 2 : 聖徳大学附属取手聖徳女子中学校・高等学校・教諭

段の授業で活躍できない生徒でも、実験を成功させることは、まぎれもない成功体験となりうるのである。内田・守 (2004)<sup>4)</sup> は成功体験により自己効力感が向上し、それにより学業成績が上がる可能性を示唆している。つまり、実験を成功させることは、生徒の興味・関心を引き出すのみにとどまらず、学業成績の向上も期待できるということである。

幸いにも、中学理科の教科書に載っている実験は、器具（材料）と環境さえ用意すれば、難しい操作をすることなく良い結果が出るものがほとんどである。しかし、器具（材料）と環境を適当に用意できない場合、実験を成功させるには相当な工夫を要するものも少なくない。そこで、中学理科の教科書に載っている実験の一項目について、器具（材料）と環境の用意をどのようにすれば望ましい結果が得られるのかを検討するとともに、どのような要因が実験結果に影響を与えるのかを考察することとする。

## 2. 取り上げた実験のテーマ

取手聖徳女子中学校（以下、本校）で中学1年生の1学期に学習することになっている「光合成」に関する実験に、次の表1のようなものがある。

表1 取り上げた実験の概要

操作	内容
1	ふ入りの葉を用意し、ふを含む葉の一部をアルミニウムはくで覆い、光を十分に当てる。ここで「ふ」とは、葉において緑色ではない部分である。
2	操作1で準備した葉を採ってきてアルミニウムはくをはずし、熱湯につける。
3	熱湯につけた葉を、80℃ほどの湯の中で温めたエタノールにつけて脱色する。
4	エタノールにつけた葉を水に入れてやわらかくする。
5	葉をヨウ素液につけて色の変化を見る。

本実験で生徒に理解させたいのは、次の点である。

- (1) ヨウ素液につけて青紫色になる部分があることから、葉ではデンプンがつくられていることがわかる。
- (2) 葉の緑色の部分で光が当たったところが青紫色になって、「ふ」の部分で光が当たったところが青紫色にならないことから、葉の緑色の部分でデンプンがつくられていることがわかる。
- (3) 葉の緑色の部分で光が当たったところが青紫色になって、葉の緑色の部分でアルミニウムはくに覆われていたところが青紫色にならないことから、葉でデンプンがつくられるためには光が必要であることがわかる。

中学理科学習指導要領解説にも「生物とそれを取り巻く自然の事物・現象に対して関心をもち、進んでかかわっていこうとする意欲を育てること…（以下略）」ともあるように、我々を取り巻く自然の事物や現象に対して生徒が関心を持つためにも、この実験に用いる葉は、本校の敷地内あるいはその近辺に生えているものであることが望ましい。それも、生徒にとって特殊な葉ではなく、普段は気に留めることもないような身近なものをりたい。そうすることで、光合成が我々の身近で起こっている現象なのだというをより深く印象付けることができるからである。また、その葉の準備も生徒自らが行うようにしたい。自分でこの実験を成し遂げたという思いが、その後の理科への興味と関心に結びつくからである。教科書では、この実験にコリウスの葉を用いているが、本校およびその近辺にはコリウスが生えていない。そのため、コリウスの葉の代わりとして用いることのできる葉として最良のものを探す必要がある。ここで、本実験で用いる葉および環境に求められる条件は次のようなものである。

- (1) ヨウ素デンプン反応が顕著に出ること

まず、ヨウ素デンプン反応については、葉が光を受けて十分なデンプンをつくっている必要があるため、日当たりの良い場所に生えているものがよい。それも、生徒が実験をする朝から昼までの時間帯で特に日当たりが良いものが理想的である。また、天気がかもりの場合にもヨウ素デンプン反応が出やすいものがよい。

- (2) 緑色であり、かつ「ふ」があること

本校では5月中旬～下旬ごろに行う実験のため、緑色に関してはほぼ全ての植物が該当する。一方、「ふ」については、本校に生えているもので定常的に「ふ」を持っているものは無い。そこで、この点については、葉を選ぶ際にできる限り「ふ」のあるものを見つけて用いることとする。よって、本稿においては、「ふ」の有無は議論しないこととする。

- (3) エタノールにより脱色できること

操作3によって葉の緑色が脱色されるものでなくてはならない。脱色が不十分だと、ヨウ素デンプン反応の観察が困難となるからである。そのため、クチクラ層があまり発達していないものがよいと考えられる。

- (4) 呼吸速度が高い

操作1においては、葉の一部にアルミニウムはくを巻く前に葉を暗室に置いておくという手順を踏む場合がある。これは葉にあるデンプンを使い切らせるためである。葉にデンプンが残ったままでこの実験を行うと、アルミニウムはくを巻いた部分

でもヨウ素デンプン反応が出てしまうため、実験の趣旨に合わない結果となってしまいます。ただ、鉢植えの植物であれば、暗室に入れることもできるが、自生している植物では不可能である。代替案としては、アルミニウムはくを巻いた状態で一日以上置いておくことが考えられるが、実験に対する生徒の意識を維持しておくためにも、葉の準備（葉にアルミニウムはくを巻く）から結果の確認までをできる限り短い期間で行いたい。曜日のめぐり合わせによっては、葉にアルミニウムはくを巻いた次の日にヨウ素デンプン反応を確認するという場合も十分に考えられる。そこで必要となる条件は、葉がデンプンを短時間で消費するものであること、つまり呼吸速度が高いということになる。

#### (5) ヨウ素デンプン反応が短時間で確認できる

本校では、1コマ50分の授業を行っている。その中で、実験操作と結果の確認までが終わるように授業を組み立てなければならない。これまでの授業の経験から、操作5にかけられる時間は5分から10分程度である。この時間内でヨウ素デンプン反応が確認できない場合、そのまま葉をヨウ素液につけておいて、次の授業日に確認をすることになる。もちろん、結果に不都合はないと思われるが、日を空けてしまうことで、感動が薄れてしまうことが懸念される。よって、ヨウ素デンプン反応が短時間で出る条件が必要とされる。

### 3. 方法

これまで述べてきたような条件を満たす葉の種類および操作の仕方等を検討するため、まずは葉の選定を行い、次に実験条件や操作の仕方による実験結果の出方を比較した。

#### (1) 実験1 (2014年5月27, 30日, 6月3日実施)

葉の選定には、5～6月に本校の敷地内でみられるものの中で、日当たりの良い場所に生えていて、クチクラ層があまり発達していない5種類の葉を用意した。なお、葉の準備としては、よく晴れた日の15時ごろに葉にアルミニウムはくを取り付け、4日後（くもりの日）の10時ごろにその葉を採取した。5種類の葉（写真1～5）をサンプルA（アジサイ）、B（ハナミズキ）、C（ヒルガオ）、D（ヤブガラシの仲間）、E（カキの仲間）と思われるが、詳しくは不明）として、それぞれ以下の表2に示す操作を行った。このときに用いるヨウ素液は、本校で用いているヨウ素液の原液（ヨウ素分0.7%）を希釈して3種類の濃度（原液・3倍希釈・10倍希釈）のものを用意した。また、それぞれのサンプルにおいて、ヨウ素デンプン反応が出るまでの時間も同時に調べた。

表2 取り上げた実験の概要

操作	内容
①	葉を熱湯に1分間入れる
②	葉をあたためたエタノールに3分間入れる
③	葉を水に入れてやわらかくになったらヨウ素液につける
④	時間経過によるヨウ素デンプン反応の出方を観察する

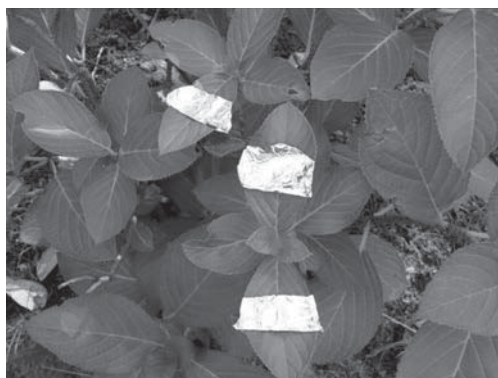


写真1 (サンプルA) 8時から13時ごろまでは断続的に木漏れ日が当たる



写真2 (サンプルB) 7時から12時ごろまでは日当たり良好、12時から15時ごろまでは断続的な日照



写真3 (サンプルC) 7時から17時ごろまで日当たり良好





写真4 (サンプルD) 9時から14時ごろまで日当たり良好



写真5 (サンプルE) 9時から16時ごろまで日当たり良好

## (2) 実験2 (2014年6月3, 4, 10日実施)

実験1において、ヨウ素デンプン反応が見やすく、また取り扱いが難しいサンプルを2種類選り出した。これらのサンプルについて、より困難な条件においてもできるだけ短時間でヨウ素デンプン反応を出すため、葉を熱湯に入れておく時間を変えて実験を行った。同じ個体の葉でも、その葉の位置によって、光に当たる時間や角度が異なるため、1枚の葉を半分に切って比較をすることとした。ただし、このときに用いた葉は、前日（くもりのち雨）の12時ごろにアルミニウムはくを取り付け、当日（終日くもり）の11時ごろに採取してきたものである。また、ヨウ素液は3倍希釈を用いた。実験の操作はほとんど同じだが、操作①で熱湯に入れておく時間を、片方は1分間、もう片方は3分間にした。その後の操作は実験1と同様である。

## 4. 結果

### (1) 実験1

サンプルA～Dは、エタノールで葉の緑色を脱色する過程までは問題なく進めることができたが、サンプルEは熱湯に入れる段階から葉の表面が崩れだし、エタノールによる脱色後には、慎重に扱わないとばらばらになってしまいそうなほどに表面がもろくなっていた。このサンプルEは、ヨウ素デンプン反応を確認することはできたものの（写真6）、取り扱いの難しさから、

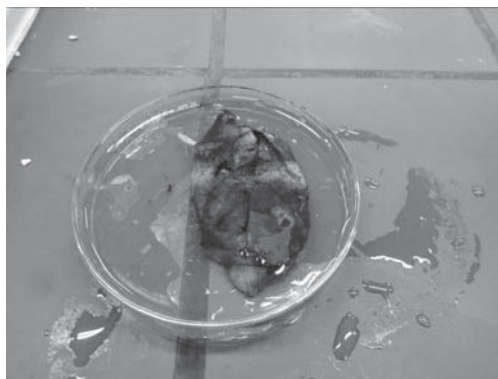


写真6 (サンプルE, 原液, 5分後)

生徒実験での利用は困難と判断し、検討から外すこととした。

※写真番号の後の情報は（サンプル名、ヨウ素液濃度、ヨウ素液に入れてからの経過時間）である

サンプルA～Dについては、ヨウ素液の濃度による差異、そしてサンプルによる差異がみられたので、結果を以下に示す。

### ①ヨウ素液の濃度について

ヨウ素液の原液と3倍希釈のものでは、ヨウ素デンプン反応が十分に確認できた（写真7, 8）。一方、10倍希釈については、ほとんど染まらなかった（写真9）。



写真7 (サンプルA, 原液, 10分後)



写真8 (サンプルA, 3倍希釈, 10分後)



写真9 (サンプルA, 10倍希釈, 10分後)

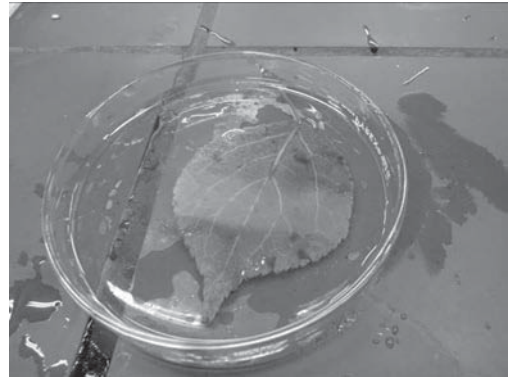


写真12 (サンプルB, 3倍希釈, 24時間後)

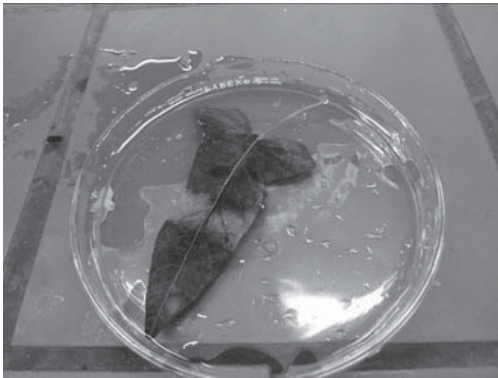


写真10 (サンプルC, 3倍希釈, 5分後)



写真13 (サンプルD, 3倍希釈, 10分後)

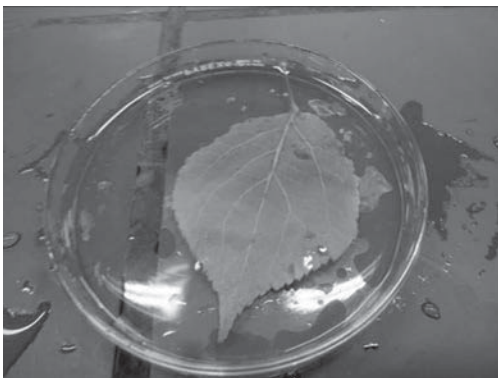


写真11 (サンプルB, 3倍希釈, 5分後)



写真14 (サンプルD, ———, ヨウ素液に入れる前)

## ②サンプルについて

サンプルA, C, Dは早い段階でヨウ素デンプン反応が確認できた(代表例: 写真10)が, サンプルBは, 反応が出ている部分とそうでない部分の区別はつくものの, 他のサンプルほど顕著な呈色は示さなかった(写真11)。サンプルBについては, ヨウ素液に一晩つけておいたものも写真12に示す。

また, サンプルDについては, アルミニウムはくを巻いていない部分ほどではないが, アルミニウムはくを巻いた部分もヨウ素デンプン反応を示していた(写真13)。比較のためにエタ

ノールによる脱色後のサンプルDを写真14に示す。

以上の結果から, 今回用いた葉の中では, 本実験に適しているのはサンプルAとサンプルCであると結論づけ, 次の実験2にも用いることとした。

## (2) 実験2

サンプルAでは, 熱湯に3分間入れた葉のほうがヨウ素デンプン反応が出るまでの時間が短かった(写真15)が, サンプルCでは明確な違いが見られなかった(写真16)。



写真15 (サンプルA, ヨウ素液に入れて10分後)  
左が熱湯3分, 右が熱湯1分のもの

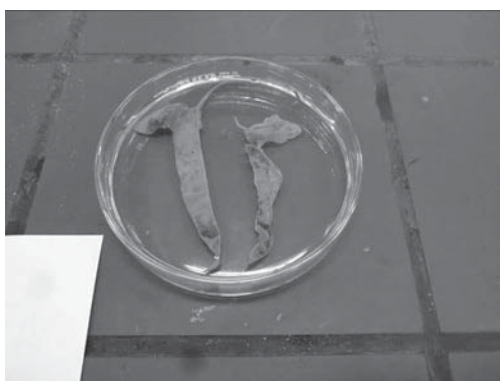


写真16 (サンプルC, ヨウ素液に入れて10分後)  
左が熱湯3分, 右が熱湯1分のもの

## 5. 考察および結論

### (1) 実験1

#### ① ヨウ素液の濃度について

ヨウ素デンプン反応は、その仕組みから考えても、三ヨウ化物イオン等のヨウ素成分の濃度が高いほうが反応が速く進むはずである。つまり、ヨウ素液の濃度が高いほうが、青紫色に呈色し終わるまでにかかる時間は短いということになる。本研究においても、写真7～9の結果から、ヨウ素液の濃度がヨウ素デンプン反応の出方に影響を与えていることがわかる。ヨウ素液の原液と3倍希釈のものでは、原液のほうがヨウ素の濃度が高いために、ヨウ素デンプン反応が速く進み、写真7のように、わずかな量のデンプンにも早い段階から作用したものと考えられる。これにより、実験の理論としては青紫色にならないはずの部分も染まってしまうこととなり、実験結果としては望ましいものとは言えない。この結果からは、アルミニウムはくで覆った部分にもデンプンが存在したことになるが、実験1については、アルミニウムはくを巻いてから葉の採取までに4日という時間が経過しており、この部分のデンプンをさらに減らしておくことは困難であると思われる。よって、アルミニウムはくを巻いた部分にも、この程度のデンプンが残っているものとして、ヨウ素液の濃度を調整する必要がある。写真8の結果からも、

数分から数十分の時間範囲であれば、3倍希釈程度の濃度のヨウ素液を用いることで、青紫色に呈色するはずの部分とそうでない部分の差がはっきり出ることがわかる。一方で、10倍希釈までヨウ素液の濃度を低くすると、写真9のように、ヨウ素デンプン反応が適切に確認できない。したがって、1コマの授業内でヨウ素デンプン反応の確認までをするためには、ヨウ素液の濃度は原液を3倍程度に希釈したものが適当であることがわかる。

#### ② サンプルの検討

サンプルAは、写真8のとおり、ヨウ素液の濃度を適切に調整できれば、望ましい結果が得られるサンプルである。また、葉が厚く丈夫で、作業中に葉が破損する心配をせずに実験を行うことができる点においても、すぐれた材料といえる。

サンプルBは、写真11のような呈色状況では生徒実験としてインパクトに欠けるが、ヨウ素デンプン反応の確認を次回の授業で行うというような状況であれば、選択肢の一つとして考慮する価値がある。ヨウ素液に長時間つけておいた写真12では、呈色はそれほど濃くないものの、明暗(特に「明」の部分)がとてもきれいにれている。このことから、サンプルBは必要以上に多くのデンプンを蓄えない可能性が示唆される。つまり、ヨウ素液に長時間つけておいたときに対象の部分以外の部分が呈色してしまうリスクを回避するために、このサンプルBを用いることが必要となることがあり得るということである。

サンプルCは、葉が薄く、ヨウ素液によって非常に染まりやすいという特徴を持っている。写真10にも示されるように、アルミニウムはくを巻いてあった跡も、呈色状況から明らかに見てとれる。写真17に示すように、この状態はヨウ素液に長時間つけておいても維持される。つまり、アルミニウムはくで覆われた部分のデンプンがほとんど残っていないことがわかる。これは、葉が薄く(細胞数が少なく)、それほど多くのデンプンを蓄えることができないためと考えられる。細胞数が少ないということは、絶対的な呼吸量が少ないということにもなる。単位重量あたりの表面積が大きいこととも合わせて、結果的に光一光合成曲線の初期勾配が大きくなり、相対的な光合成能力が高くなっているともいえる。ただし、蓄えられているデンプンが少ない場合、ヨウ素デンプン反応の呈色に20分から30分程度の時間がかかることがあるため(ほとんど呈色していない写真16の葉(ヨウ素液に10分つけたもの)をさらにヨウ素液に20分つけたものを写真18に示す)、この点への対処が必要となる。

サンプルDは、写真13と写真14を比較しても、アルミニウムはくが巻いてあった部分にデンプンが多く残っていることがわかる。よって、サンプルDは本実験に適さないといえる。

サンプルEは、先述のとおり、ヨウ素デンプン反応による呈色は見られたものの、原形をとどめたまま本実験の手順を進めることが困難なため、現段階では適当な材料であるといえ



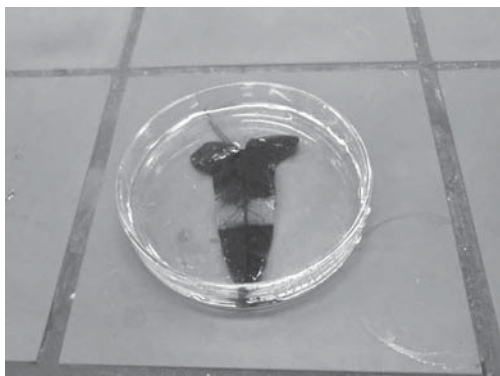


写真17 (サンプルC, 3倍希釈, 24時間後)

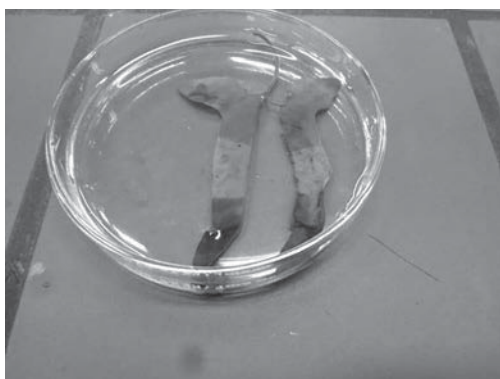


写真18 (サンプルC, ヨウ素液につけて30分後)

ない。ただ、本校に生えている植物の中でも、「ふ」が特によくみられるものの一つであるため、このサンプルEを本実験で用いることができるような手法を検討することが今後の課題となる。

## (2) 実験2

写真15からもわかるように、サンプルAでは、熱湯に入れておく時間を増やすことで、ヨウ素デンプン反応があらわれるまでの時間が明らかに短くなった。これは、熱湯に入れることで、細胞壁がやわらかくなったり壊れたりし、さらには細胞膜が物質を透過させやすくなり、ヨウ素液と細胞内の葉緑体が接触しやすくなったためと考えられる。一方、サンプルCでは、写真16と写真18のように、反応が現れるまでの時間短縮は確認されなかった。これらの結果は、細胞壁と細胞膜の状態が植物の種類によりさまざまであり、サンプルAでは熱湯での加熱時間を

長くすることで、よりヨウ素デンプン反応に適した状態となり、サンプルCについては、実験1の操作ですでにこの葉としての最適な状態となっていたことを示唆している。また、サンプルAとサンプルCがともに実験1では早い段階でヨウ素デンプン反応があらわれたことから、デンプン量もヨウ素デンプン反応の速度に影響を与えていると考えられる。そして、デンプン量が少ないときには、葉の種類によるヨウ素デンプン反応の速度差が特に顕著にあらわれることがわかる。

実験1と実験2を検討した結果、基本とすべき実験条件および生徒実験において特に気をつかう必要がある状況と、その際に留意すべき点は次のとおりである。

- ①葉はサンプルAかサンプルCを用いることを基本とする。
- ②ヨウ素液は原液を3倍程度に希釈して用いる。
- ③アルミニウムはくを取り付けた翌日の授業でヨウ素デンプン反応の確認をする場合は、サンプルAを用いて、熱湯での加熱時間を長くする。ただし、授業時間の都合で葉をヨウ素液に長時間つけておく場合にはサンプルCを用いる。

以上の留意点は、実験方法の一例である。実際の授業における運用としては、本研究で検討した点を理解した上で、それを他の種類の植物（葉）にも応用して、生徒がより関心を持つことができ、かつ成功といえるような実験結果が得られるような条件を設定する必要がある。

今後も、よりよい実験条件を模索していかなければならないが、植物の光合成能力は時季によっても大きく変動する可能性があるため、5月から6月という限られた期間で計画的に検証を進めていくことが求められる。

## 参考文献

- 1) 文部科学省. 中学校学習指導要領. 東山書房, 2008, 108p., ISBN 978-4-8278-1461-3
- 2) 文部科学省. 中学校学習指導要領解説 理科編. 大日本印刷, 2008, 133p., ISBN978-4-477-01979-6
- 3) 有馬朗人ほか. 理科の世界 1年. 大日本図書, 2011, 280p., ISBN 978-4-477-02284-0
- 4) 内田昭利, 守一雄. 中学生を対象とした自己効力感を向上させるための実験的研究の外観. 信州大学研究紀要. 2004, No.112, p.145-156.
- 5) Bruce, Alberts.; Dennis, Bray.; Julian, Lewis.; Martin, Raff.; Keith, Roberts.; James, D.Watson. 細胞の分子生物学. 教育社, 1987, 1146p., ISBN4-315-50453-X C3045